

KONRAD KOSIŃSKI

## ZWIĄZEK MIĘDZY CZYNNIKAMI METEOROLOGICZNYMI A ZANIECZYSZCZENIEM POWIETRZA ATMOSFERYCZNEGO

Z Zakładu Higieny Komunalnej PZH w Warszawie

*Omówiono zależności pomiędzy poszczególnymi czynnikami meteorologicznymi a zanieczyszczeniem dolnych warstw powietrza atmosferycznego.*

Związek między czynnikami meteorologicznymi a zanieczyszczeniem powietrza jest obecnie na świecie szeroko badany. W Polsce również zaczyna się wykonywać prace tego typu. Przy rozpatrywaniu tego problemu należy czynniki meteorologiczne rozbić według wielkości przestrzeni, na jakiej występują, na makro- i mikrometeorologiczne. Przez czynniki „makro” rozumie się masy i fronty powietrza, całe obszary wysokiego i niskiego ciśnienia, mapy średniego ciśnienia, linie izotermiczne, izobaryczne o stałej wilgotności itp. Wszystkie te czynniki mogą obejmować znaczne przestrzenie atmosfery. Czynniki zaś „mikro” są ściślej związane z klimatem miejscowym i obejmują kierunki i szybkości wiatrów lokalnych, temperaturę lokalną, ciśnienie, wilgotność powietrza i inne.

Istnieją ogólnie dwie zależności:

$$Z = f_1(\text{CM}) \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{oraz } \text{CM} = f_2(Z) \dots \dots \dots (2)$$

gdzie Z oznacza zanieczyszczenie powietrza, CM — czynniki meteorologiczne,  $f_1$  i  $f_2$  — symbole funkcji. Wzór (2) oznacza, że istnieje wpływ zanieczyszczeń powietrza na klimat, dotyczy to zwłaszcza mikroklimatu. W niniejszej pracy chcę omówić jedynie niektóre przypadki funkcji (1).

Również bardzo ogólnie można napisać, że stężenie zanieczyszczenia w danym punkcie ( $C_z/X, Y, Z$ ) atmosfery zależy między innymi od szeregu czynników meteorologicznych:

$$C_z(X, Y, Z) = F(T, p, W, O, \text{Pr}, \text{In}) \dots \dots \dots (3)$$

gdzie F — symbol funkcji, a T — temperatura powietrza w badanym punkcie, p — ciśnienie atmosferyczne, W — wilgotność powietrza, O — opady (ich rodzaj i natężenie), In — inne czynniki meteorologiczne.

Obecnie ta funkcja wielu zmiennych (3) nie posiada ustalonej ogólnej formy matematycznej, istnieją tylko jej szczególne przypadki jednej-, dwu- lub trzech-zmiennych, jak np. wzory Sutttona (4, 6, 7, 8, 10).

Masy powietrza a jego zanieczyszczenie

*Effenberger* i *Lindner* (2) w szczegółowych badaniach nad zanieczyszczeniem Hamburga w ciągu roku stwierdzili występowanie tam następujących mas powietrza:  $mP_A, mP, cP, cP_z, mP_z, cT_s, mT_s, cT$ , gdzie m oznacza powietrze morskie, P — polarne, A — arktyczne, c — kontynentalne, z — zmienne, T — tropikalne i S — afrykańskie.

Opracowanie statystyczne wyników stężenia pyłów (grubego aerosolu) w powietrzu w zestawieniu z odpowiednimi masami powietrza wykazało korelację. W przypadku mas powietrza typu „m” otrzymuje się na ogół mniejsze zanieczyszczenia pyłem niż w przypadku „c”. Również wydaje się bardziej prawdopodobne większe zanieczyszczenie powietrza szkodliwymi substancjami gazowymi w przypadku jego pochodzenia z kontynentów niż w przypadku pochodzenia morskiego. Także można stwierdzić wpływ mas zimnych i ciepłych. Zimne masy powietrza są ogrzewane od dołu i powodują ruchy termiczne w dolnych warstwach atmosfery, a w związku z tym dobre wymieszanie i odprowadzanie zanieczyszczeń. Odwrotny wpływ wywierają masy ciepłe.

#### Fronty powietrza a jego zanieczyszczenie.

Fronty powietrza łączą się ściśle z masami powietrznymi, gdyż są to gwałtowne przejścia od jednej masy do drugiej. Odgrywają dużą rolę w zagadnieniu zanieczyszczenia powietrza, gdyż w związku z nadejściem niektórych frontów obserwuje się występowanie mgieł, opadów itp. Problem dokładniej nieopracowany.

#### Obszary wysokiego i niskiego ciśnienia a zanieczyszczenie powietrza.

W ogólności należy stwierdzić, że wyż barometryczny to większa stabilność atmosfery i większe zanieczyszczenie jej dolnych warstw. Przy niżu zaś występuje większa turbulencja i lepsze rozcieńczenie zanieczyszczeń oraz często lepsze oczyszczenie powietrza przez opady.

#### Mapa średniego ciśnienia a zanieczyszczenie powietrza.

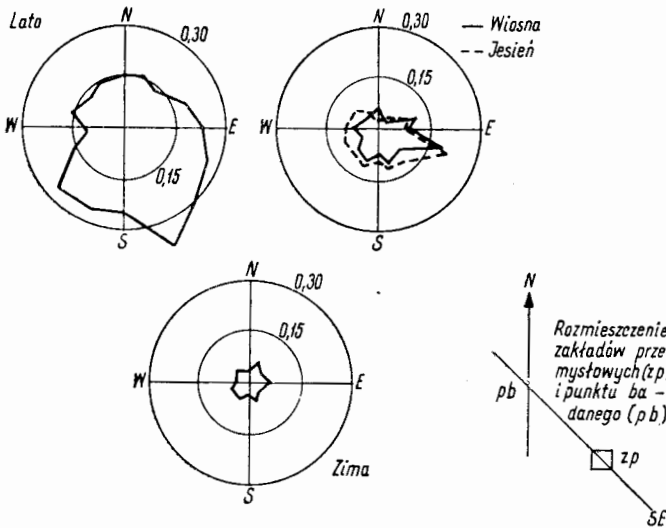
Izobary, czyli linie łączące punkty na ziemi o jednakowym (średnim) ciśnieniu mogą być nieraz wskaźnikiem lepszych lub gorszych warunków dla nagromadzenia się zanieczyszczeń w powietrzu. W przypadku zagęszczonych izobar, tzn. gdy istnieje większy spadek ciśnienia z odległością  $\frac{(\Delta p)}{(\Delta l)}$  występują zwykle wyższe średnie szybkości wiatru i bardziej korzystne warunki dla dyfuzji zanieczyszczeń.

#### Kierunek wiatru a zanieczyszczenie powietrza.

Kierunek wiatru obok jego szybkości jest jednym z najistotniejszych czynników, wpływających na proces rozchodzenia się zanieczyszczeń w masie atmosfery. Należy stwierdzić, że kierunki wiatrów przyziemnych mogą znacznie zmieniać się w stosunku do wiatrów górnych zwłaszcza na terenie miasta, gdzie istnieje szereg przeszkód. Znajomość kierunku wiatru (jak również jego szybkości i innych czynników) w przekroju pionowym do wysokości kilkuset metrów (i wyżej) jest konieczna dla zrozumienia zagadnienia rozchodzenia się zanieczyszczeń. Badania statystyczne nad zanieczyszczeniem pyłowym (2) wykazały, że istotne zmiany otrzymuje się nie tylko dla źródeł zanieczyszczających punktowych, lecz i zespołowych (całe miasto) przy zmianie kierunku wiatru. Zmiany te dotyczyły zarówno stężenia, jak i granulacji pyłu (o godzinie 12. i 24.).

Rycina 1 przedstawia sposób stwierdzenia wpływu kierunku wiatru na stężenie dwutlenku siarki wokół centrum przemysłowego. W przy-

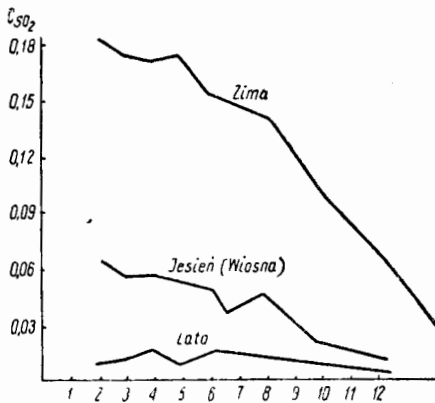
padku wiatru wiejącego z SE (od strony zakładów przemysłowych na punkt badany) otrzymuje się z reguły większe stężenia dwutlenku siarki.



Ryc. 1. Zależność stężenia dwutlenku siarki w powietrzu atmosferycznym (w  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) od kierunku wiatru dla poszczególnych pór roku (współrzędne biegunowe).

Szybkość wiatru a zanieczyszczenie powietrza.

Zależność pomiędzy szybkością wiatru a ilością zanieczyszczeń przedstawia rycina 2. Na jej podstawie można wywnioskować, że ze wzrostem szybkości wiatru maleje stężenie zanieczyszczenia gazowego ( $\text{SO}_2$ ) bez względu na porę dnia i roku (5).



Ryc. 2. Zależność stężenia dwutlenku siarki w powietrzu atmosferycznym ( $C_{\text{SO}_2}$  w  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) od szybkości wiatru ( $v$  w  $\text{m}/\text{sek.}$ ).

Przy większych szybkościach otrzymuje się lepszy efekt odprowadzania zanieczyszczeń i rozcieńczania świeżymi masami powietrza. Podobnie otrzymano dla pyłów (2). Ilościowy wpływ czynnika szybkości wiatru jest stosunkowo najbardziej opracowany.

Należy przytoczyć tu przede wszystkim *Suttona* (4), który podał między innymi równanie na wielkość stężenia poszczególnego rodzaju gazu

w dowolnym punkcie stożka wpływów kominowych jako funkcję szybkości wiatru i wykładnika meteorologicznego. Inne prace *Suttona* dotyczyły odległości osiadania pyłów z gazów kominowych, wartości maksymalnego zapyłania itp. w zależności od szybkości ruchu powietrza i innych czynników.

Ogólnie można stwierdzić, że wzrost szybkości wiatru zmniejsza stężenie wszystkich zanieczyszczeń (z wyjątkiem źle utrzymanych nawierzchni, w których wzrost zwłaszcza burzliwości wiatru może zwiększać zanieczyszczenie dolnych warstw atmosfery). Istnieje również dodatni pośredni wpływ szybkości wiatru. Przykładem tego może być niewielkie zmniejszenie się inwersji temperatury i polepszenie warunków dyfuzji zanieczyszczeń.

#### Temperatura powietrza a jego zanieczyszczenie.

Temperatura wpływa na szereg procesów fizykochemicznych zachodzących w atmosferze np. na sorpcję, koagulację, dyfuzję itp., a wszystkie one wiążą się z zagadnieniem kumulacji lub rozcieńczenia zanieczyszczeń. Stwierdzono, że temperatura powietrza, a właściwie jej różnica w stosunku do temperatury wydzielanych zanieczyszczeń posiada między innymi (poza wiatrem) wpływ na kierunek wypływu tych zanieczyszczeń (9). Jeśli temperatura powietrza jest znacznie niższa od temperatury gazów kominowych (np. w zimie), to wtedy dym będzie posiadał tendencję do odpływu w górę. W tych wypadkach temperatura powietrza nie jest czynnikiem najistotniejszym, ale nie pozostaje bez wpływu. Natomiast stwierdzono, że rozłożenie temperatury w atmosferze przyziemnej ma duży wpływ na sposób rozchodzenia się zanieczyszczeń.

Badania *Jenne* (3), prowadzone w okolicy Waszyngtonu do wysokości około 125 m wykazały istnienie pięciu różnych typów wypływu dymów z kominów w zależności od rozłożenia temperatury: typ pętłowy, stożkowy, wachlarzowy, pokrywowy i zadymienia.

Ten ostatni sposób wypływu gazów kominowych jest najbardziej szkodliwy z punktu widzenia zanieczyszczenia atmosfery i powstaje zwykle wtedy, kiedy inwersja temperatury (czyli jej odwrócony przebieg) występuje począwszy od wysokości rzędu wysokości kolumny. Przy ziemi ma wówczas miejsce normalny przebieg temperatury. Dym idzie w kierunku ziemi na całej długości pióra. Tego rodzaju rozłożenie temperatury miało miejsce podczas katastrofalnych mgieł w miejscowości Donora w 1948 r., w Londynie w 1952/53 itp. W czasie trwania tego typu inwersji obserwuje się również nagromadzenie się samochodowych gazów wydechowych w dolnych warstwach atmosfery. Badania wykazały, że na formowanie inwersji posiadają duży wpływ masy powietrza. Podobne rezultaty otrzymali badacze japońscy dla dwutlenku siarki (5).

#### Wilgotność powietrza a jego zanieczyszczenie.

Wzrost wilgotności powietrza jest na ogół zjawiskiem zmniejszającym zanieczyszczenia typu pyłowego i gazowego w powietrzu. Przy równoczesnych pomiarach drobnego i grubego aerosolu zauważono, że przy wzrastających wartościach względnej wilgotności występuje łączenie się pyłów w większe agregaty. Zmniejsza się ilość pyłów, a zwiększa ich wielkość, co jest zjawiskiem korzystnym z punktu widzenia higieny powietrza. Podczas określania przez nas stężenia dwutlenku siarki wokół elektrowni na Powiślu w Warszawie przy dużych wilgotnościach po-

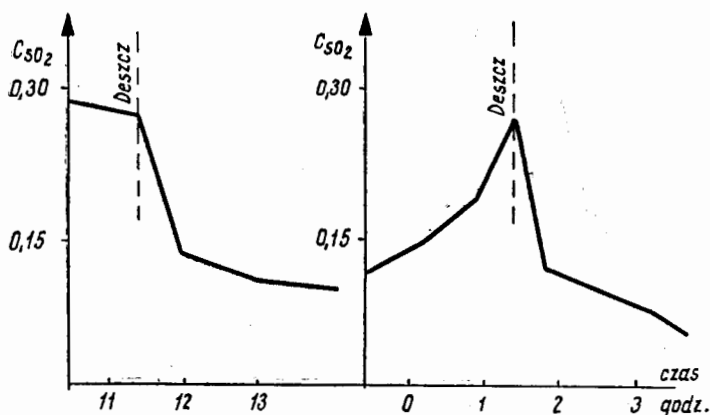
wietrza znajdowano zawsze znacznie mniejsze ilości  $\text{SO}_2$ . Poza tym para wodna zawarta w powietrzu posiada wpływ na szereg reakcji, zachodzących w atmosferze, w większości przypadków prowadzących do samooczyszczania powietrza.

### Ilość opadów a zanieczyszczenie powietrza

Podobnie jak wzrost wilgotności powietrza również wzrost ilości opadów obniża zanieczyszczenie powietrza zarówno typu gazowego, jak i pyłowego.

Działanie oczyszczające opadów w stosunku do powietrza atmosferycznego zależy z jednej strony od ich rodzaju i częstotliwości, z drugiej zaś strony od rodzaju zanieczyszczeń. W przypadku pyłów, znaczną rolę odgrywa również granulacja.

Według *Diema* (1) najbardziej oczyszczająco działa deszcz, którego średnicą kropeł wynosi około 0,45 mm. Jednakże śnieg wykazuje lepsze działanie ze względu na stosunkowo dużą powierzchnię chłonną i małą szybkość opadania. Przedstawiona niżej tabela I podaje wpływ warunków pogody na ilość zanieczyszczenia powietrza typu gazowego ( $\text{SO}_2$ ). Tabela ta wykazuje wymywiający wpływ deszczu. Spadek stężenia dwutlenku siarki następuje zaraz po deszczu (ryc. 3).



Ryc. 3. Wpływ deszczu na zmniejszenie się stężenia dwutlenku siarki ( $C_{\text{SO}_2}$  w  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) w powietrzu atmosferycznym.

Tabela I

Stężenie dwutlenku siarki w powietrzu jako funkcja rodzaju pogody

Rodzaj pogody	Ilość obserwacji	Średnie stężenie $\text{SO}_2$ w $\text{mg}/\text{m}^3$
Pogodnie . . . . .	424	0,081
Pochmurno . . . . .	383	0,072
Deszczowo . . . . .	205	0,039

Promieniowanie w atmosferze a zanieczyszczenie powietrza.

Promieniowanie w atmosferze jest ściśle związane z zachowaniem się wielu zanieczyszczeń. Obejmuje ono praktycznie promieniowanie podczerwone, widzialne, ultrafioletowe, rentgenowskie i  $\gamma$ .

Pod mianem promieniowania w atmosferze rozumie się również cząstki  $\alpha$  i  $\beta$ , neutrony, mezony i inne oraz różne izotopy promieniotwórcze występujące w powietrzu.

Promieniowanie radioaktywne jest samo przez się niebezpiecznym zanieczyszczeniem oraz ściśle się łączy z czynnikami meteorologicznymi (np. powstawaniem inwersji temperatury, występowaniem mgieł, opadów itp.). Zagadnienie promieniowania radioaktywnego będzie omówione w innych pracach. Ze względów ilościowych wpływ na zanieczyszczenie powietrza posiada promieniowanie widzialne i ultrafioletowe (np. reakcje ozonu, tlenków azotu, węglowodorów, dwutlenku siarki i innych).

Promieniowanie ultrafioletowe poza tym wykazuje działanie bakterio-bójcze, a więc oczyszczające powietrze.

Na zakończenie tego pobieżnego przeglądu wpływu czynników meteorologicznych na zanieczyszczenie powietrza należy stwierdzić, że nowoczesne badania stanu sanitarnego atmosfery przyziemnej wymagają szerszego uwzględnienia tych czynników. Zagadnienie to nabiera dużego znaczenia w Polsce w związku z szybkim rozwojem przemysłu.

К. Косиньски

#### СВЯЗЬ МЕЖДУ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ А ЗАГРЯЗНЕНИЕМ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Обсуждено влияние метеорологических факторов типа „макро” и „микро” на загрязнение атмосферного воздуха. Констатировано, что в зависимости от рода больших количеств воздуха и его направлений, а также барометрического циклона и антициклона получаются более или менее пригодные обстоятельства для кумуляции или разбавления загрязнения нижних слоев атмосферы. Из других факторов большее влияние имеют направления и быстрота ветров, температура воздуха, влажность, а также количество и частота выпадающих дождей.

Также доказана точная связь между солнечным сиянием а загрязнением атмосферного воздуха.

K. Kosiński

#### THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL FACTORS ON THE CONTAMINATION OF ATMOSPHERIC AIR

The influence of „macro” and „micro” meteorological factors on the air contamination is discussed. The kind of masses and fronts of the air as well as the high or low baric pressure have a cumulative or diluting effect on the contamination in lower atmosphere. Between other factors the direction and the strength of the wind, the temperature (and its gradient), and the moisture of the air, the amount and frequency of rainfall play the role. The influence of sun operation on the air contamination has been also shown.

#### PIŚMIENNICTWO

1. Diem M.: Mitteil. Vereinig. Grosskesselbesitzer, 42, 201, 1956. — 2. Effenberg E., Lindner A.: Arch. Hyg. Bakt., 141, 57, 1957. — 3. Jenne D. E.: J. Air Pollution Control Assoc., 7, 31, 1957. — 4. Juda J.: Badanie pyłów i urządzeń odpylających, Warszawa 1959. — 5. Kanno S., Fakuji S., Ikeda H.: Int. J. Air Pollution, 1, 234, 1959. — 6. Magill P. L., Holden Fr., Alkley Ch.: Air Pollution Handbook. New York — Toronto—London 1956. — 7. McCabe L. C.: Air Pollution, New York — Toronto — London 1952. — 8. Sutton O. G. — Quart. J. Roy. Met. Soc., 73, 257, 1947. — 9. Szelejchowski G. W.: Zadymleniye gorodow, Moskwa 1949. — 10. Trappenberg R.: Int. J. Air Pollution, 2, 27, 1959.